

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## 発明の名称

薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置

## 発明の背景

### 5 発明の技術分野

#### 【0001】

本発明は、少なくとも誘導型電磁変換素子を有する薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置に関する。

### 関連技術の説明

#### 10 【0002】

近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近ではハードディスク装置の面記録密度は、160～200ギガバイト/プラッタに達し、更にそれを超える勢いである。これに伴い、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

#### 15 【0003】

薄膜磁気ヘッドは、書込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと、読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR (Magnetoresistive) 素子ともいう）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

#### 20 【0004】

この種の複合型薄膜磁気ヘッドでは、記録ヘッドは、一般に記録媒体に対向する媒体対向面（エアベアリング面、ABSともいう）、下部磁極層、上部磁極層、記録ギャップ層および薄膜コイルとを有している。下部磁極層および上部磁極層は、媒体対向面の側において互いに対向する磁極部（対向磁極部）を有し、その対向磁極部から離れた位置に配置された連結部によって、互いに磁氣的に連結されている。記録ギャップ層は、各対向磁極部の間に形成されている。薄膜コイル

は下部磁極層および上部磁極層と絶縁され、少なくとも一部がこれらの間に配置されている。

#### 【0005】

5 記録ヘッドの性能、とりわけ記録密度を上げるためには、記録媒体におけるトラック密度の向上が必要である。そのためには、トラック幅、すなわち、2つの対向磁極部の媒体対向面における幅を数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現しなければならないことから、記録ヘッドは半導体加工技術を利用して製造されていた。

#### 【0006】

10 記録ヘッドは、トラック幅を小さくしていくと、2つの対向磁極部の間で高密度の磁束を発生させることが難しくなってくるため、磁極部の材料に高い飽和磁束密度を有する磁性材料を用いることが望まれていた。

その一方、記録密度の向上に伴い記録信号の周波数が高くなってくると、記録ヘッドでは、磁束が変化する速度を向上させること、すなわち、フラックスライズタイムを短縮することが求められる。しかも、高周波帯域において、オーバーライト特性や非線形トランジションシフト (Non-linear Transition Shift) 等の記録特性の劣化が少ないことが求められる。

#### 【0007】

20 高周波帯域における記録特性の向上のためには、記録ヘッドの磁路長を短くすることによって、周波数が高く変化の速い記録信号のすばやい変化に追従し得るようにすることが望ましい。磁路長は、主に、下部磁極層または上部磁極層における媒体対向面から連結部までの長さ（以下「ヨーク長」という）によって決まるので、磁路長の短縮にはヨーク長の短縮が有効である。また、媒体対向面から連結部までの間に薄膜コイルが巻かれる場合、ヨーク長の短縮には、薄膜コイルの巻線のうち、媒体対向面から連結部までの間に配置される部分のピッチ（以下「巻線ピッチ」という）を小さくすることが有効である。

#### 【0008】

従来の薄膜磁気ヘッドは、大別すると、連結部の周りに巻かれた平面渦巻き状の薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド（下記特許文献1参照）と、下部磁極層と上部磁極層の少なくとも一方の周りに螺旋状に（helical）巻回された薄膜コイルを有する薄膜磁気ヘッド（下記特許文献2，3，4参照）とがあった。

5

#### 【0009】

前者の薄膜磁気ヘッドは、磁束の多くを連結部の近傍に発生し、そのうち下部磁極層および上部磁極層により対向磁極部に導かれた磁束によって、情報を記録する。しかし、前者の薄膜磁気ヘッドでは、磁束の多くが連結部の周りに発生するため、発生する磁束は数パーセント程度しか記録に用いられてなく、磁束による記録が効率的に行われていなかった。そのため、前者の薄膜磁気ヘッドでは、記録に用いられる磁束を増やすため、薄膜コイルのターン数をできるだけ多くするようにしていた。そのための技術として、従来、例えば、第1のコイルの巻線間に第2のコイルの巻線を配置することによって、巻線ピッチを小さくする技術があった（下記特許文献5参照）。

10

15

#### 【0010】

また、後者の薄膜磁気ヘッドでは、薄膜コイルが媒体対向面の近くに配置されているため、前者に比較すると、発生する磁束が効率的に記録に用いられる。そのため、後者の薄膜磁気ヘッドは、平面渦巻き状の薄膜コイルを有する前者の薄膜磁気ヘッドよりも薄膜コイルのターン数を少なくすることができ、ヨーク長の短縮に有益であった。

20

#### 【0011】

前者、後者いずれの薄膜磁気ヘッドも、高周波帯域における記録特性を向上するためには、ヨーク長の短縮が有効である点には違いがなく、これを実現するためには、薄膜コイルの巻線ピッチを可能な限り小さくすることが有効である。また、記録に用いられる磁束を増やすためには、薄膜コイルのターン数を増やすこ

25

とも有効である。これらをすべて実現させるためには、可能な限り巻線ピッチを小さくすることによって、ヨーク長を短縮し、薄膜コイルのターン数を増やせるようにする必要がある。そのためには薄膜コイルの各ターンの幅（ターン幅）を狭める必要がある。

5      【0012】

しかし、薄膜コイルにおけるターン幅を狭めると、薄膜コイルの抵抗値が上昇し、薄膜コイルから発生する熱も多くなる。薄膜コイルから発生する熱が多くなると、その熱によって、薄膜コイルが自己膨張を引き起こす。すると、磁極部が記録媒体に近づくように突出し、記録媒体に衝突しやすくなってしまう。このことから、従来の薄膜磁気ヘッドは、ターン幅をあまり小さくすることができなかった。そのため、ヨーク長を短縮することもできなかった。

10      【0013】

また、従来から、薄膜コイルはフレームめっき法で形成されている。フレームめっき法で用いるフレームは、各ターンの間に配置される壁部分を有している。その壁部分は、形状を維持するため、幅をある程度の大きさにしなければならないから、薄膜コイルをフレームめっき法で形成するときは、隣接するターンの間隔（ターン間隔）を小さくすることが難しくなるという問題がある。

特許文献1：米国特許第6, 043, 959号明細書

特許文献2：米国特許第5, 995, 342号明細書

20      特許文献3：特開2000-311311号公報

特許文献4：米国特許第6, 459, 543B1号明細書

特許文献5：米国特許第6, 191, 916B1号明細書

発明の目的および概要

25      【0014】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、抵抗値を上げることなく、高周波帯域における記録特性に優れた構造を備えた薄膜磁気ヘッドおよびそ

の製造方法並びにヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置を提供することを目的とする。

#### 【0015】

上記課題を解決するため、本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互  
5 いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各  
磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶  
縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または第1お  
よび第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイ  
10 ルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁  
極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群  
または連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部  
と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、第1の導体群が、  
各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1および第  
2の導体群と、第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な  
15 材料からなり、第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けた薄膜磁  
気ヘッドを特徴とする。

この薄膜磁気ヘッドは第1の導体群が絶縁接触構造を有しているから、各内導  
体部の、それぞれ隣り合うもの同士の間には絶縁膜のみが介在し、それぞれの間隔  
がその絶縁膜の厚さに等しくなっている。また、内緩和部を設けたので、第1の  
20 導体群の自己膨張の影響を受け難くなっている。

#### 【0016】

上記薄膜磁気ヘッドは、媒体対向面の側に配置された内導体部と、第1の磁極  
群との間に内緩和部が配置されているようにすることができる。

また、連結部の側に配置された内導体部と、第1の磁極群との間に内緩和部が  
25 更に配置されていることが好ましい。これらの構成を有することにより、媒体対  
向面に近い側に内緩和部が配置されるので、第1の導体群の自己膨張の影響を受

け難くすることができる。

#### 【0017】

そして、第2の導体群が、各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1および第2の導体群と、第1および第2の磁極群のいずれか  
5 少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、第2の導体群と絶縁膜を介して接触する外緩和部を更に設けることもできる。

こうすると、各内導体部だけでなく、各外導体部も、それぞれ隣り合うもの同士  
10 間に絶縁膜のみが介在して、それぞれの間隔がその絶縁膜の厚さに等しくなる。また、外緩和部を設けたので、第2の導体群の自己膨張の影響を受け難くなっている。

#### 【0018】

この場合、媒体対向面の側に配置された外導体部と、媒体対向面との間に外導  
15 体部が配置されていることが好ましい。

こうすると、媒体対向面に近い側に外緩和部が配置されるので、第2の導体群  
15 の自己膨張の影響を受け難くすることができる。

#### 【0019】

そして、第1の導体群および第2の導体群は、各内導体部および各外導体部の  
媒体対向面に交差する方向の配置密度が、第2の磁極群の外側からその第2の磁  
20 極群に向かって増加しているとよい。

この場合、薄膜磁気ヘッドは、第2の磁極群に近づくにしたい各内導体部と  
20 外導体部がそれぞれ次第に密集し、巻線ピッチが小さくなるようになっている。

#### 【0020】

さらに、各内導体部および各外導体部は、第2の磁極群に対応する部分からそ  
25 の外側に向かって、経路幅が漸次広がる可変幅構造を有しているとよい。

これにより、各内導体部および各外導体部は、電流の流れを妨げることが少  
25 くなるから、電流の流れがスムーズになる。

【0021】

この薄膜磁気ヘッドの場合、第1の磁極群が、媒体対向面に向かって突出する突出部を有することが好ましい。

こうすると、各内導体部および各外導体部の経路幅を第1の磁極群に沿って変化させることができる。

【0022】

また、各内導体部および各外導体部が、突出部に対応した箇所に、経路幅が最も狭い最狭部を有することが好ましい。

これにより、各内導体部および各外導体部は、経路幅が狭くなる範囲が極力少なくなっている。

【0023】

さらに、突出部が、媒体対向面に向かって突出する曲面を有するとよい。

この場合、各内導体部および各外導体部の側部の形状を突出部に沿って変化させることができる。

【0024】

そして、各内導体部および各外導体部が、突出部の側面形状に対応して湾曲していることが好ましい。

この場合、各内導体部および各外導体部の経路幅をなだらかに変化させることができる。

【0025】

そして、本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、その第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、以下の(1)～(10)に示す各工程を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法



を提供する。

(1) 基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを、第1の内導体部に隣接する緩和部用間隙を設けて形成する工程、

5 (2) 第2の磁極層および互いに隣り合う各第1の内導体部の間と、緩和部用間隙に分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程、

(3) 各内溝部に、第1の内導体部または第2の磁極層のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなる内緩和部と第2の内導体部とを形成し、第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程、

10 (4) 第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して第1の磁極群を形成する工程、

(5) 記録ギャップ層を設けるようにして、第1の磁極群上に前記第2の磁極群を形成する工程、

(6) 下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成する工程、

15 (7) 第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部と、ヨーク長を決める位置に配置された絶縁部を形成する工程、

(8) 絶縁部および互いに隣り合う各第1の外導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程、

(9) 各外溝部に第2の外導体部を形成し、第1および第2の外導体部により第2の導体群を形成する工程、

20 (10) 第1および第2の導体群と、接続部群とによって、薄膜コイルを形成する工程。

これらの各工程を経ることにより、第1の導体群が絶縁接触構造を有し、第1の導体群に絶縁膜を介して接触する内緩和部を有する薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

25 【0026】

さらに本発明は、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互に対向する磁極部

を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、  
5 以下の(1)～(10)に示す各工程を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供する。

(1) 基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを、第1の内導体部に隣接する内緩和部用間隙を設けて形成する工程、

10 (2) 第2の磁極層および互いに隣り合う各第1の内導体部の間と、内緩和部用間隙に分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程、

(3) 各内溝部に、第1の内導体部または第2の磁極層のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなる内緩和部と第2の内導体部とを形成し、第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程と、

15 (4) 第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して第1の磁極群を形成する工程

(5) 記録ギャップ層を設けるようにして、第1の磁極群上に第2の磁極群を形成する工程、

(6) 下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成する工程、

20 (7) 第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部と、ヨーク長を決める位置に配置された絶縁部とを、第1の外導体部に隣接する外緩和部用間隙を設けて形成する工程、

(8) 絶縁部および互いに隣り合う各第1の外導体部の間と、外緩和部用間隙に分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程、

25 (9) 各外溝部に、第1の外導体部よりも柔軟な材料からなる外緩和部と第2の外導体部とを形成し、第1および第2の外導体部により第2の導体群を形成する工程、

(10) 第1および第2の導体群と、接続部群とによって、薄膜コイルを形成する工程。

これらの各工程を経ることにより、第1、第2の導体群が絶縁接触構造を有し、第1、第2の導体群にそれぞれ絶縁膜を介して接触する内緩和部、外緩和部を有する薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

#### 【0027】

上記製造方法の場合、第1の内導体部、第2の内導体部、第1の外導体部および第2の外導体部をそれぞれめっきにより形成することができる。

また、第2の内導体部および第2の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、その電極膜上にめっきによる導電層を形成することによって、形成することもできる。

さらに、分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することもできる。

#### 【0028】

そして、本発明は、基台上に形成された薄膜磁気ヘッドと、基台を固定するジンバルとを備え、薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または第1および第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群または連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、第1の導体群が、各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1および第2の導体群と、第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けたヘッドジ

ンバルアセンブリを提供する。

#### 【0029】

また、本発明は、薄膜磁気ヘッドを有するヘッドジンバルアセンブリと、薄膜磁気ヘッドに対向する記録媒体とを備え、薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、第1および第2の磁極群に対して絶縁され、第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または第1および第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、薄膜コイルは、第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群または連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、各内導体部と各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、第1の導体群が、各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1および第2の導体群と、第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けたハードディスク装置を提供する。

The present invention will be more fully understood from the detailed description given hereinbelow and the accompanying drawings which are given by way of illustration only, and thus are not to be considered as limiting the present invention.

#### 図面の簡単な説明

#### 【0030】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの主要部を示す分解斜視図である。

図2は、薄膜コイルを構成する第1の導体群および接続部群を示す平面図である。

図 3 は、薄膜コイルを構成する第 2 の導体群を示す平面図である。

図 4 A は図 2 の IV-IV 線断面図、図 4 B はエアベアリング面に平行な断面図である。

5 図 5 A および図 5 B は、薄膜磁気ヘッドを製造する過程の一工程を示す断面図である。

図 6 A および図 6 B はそれぞれ図 5 A、図 5 B の後続の工程を示す断面図である。

図 7 A および図 7 B はそれぞれ図 6 A、図 6 B の後続の工程を示す断面図である。

10 図 8 A および図 8 B はそれぞれ図 7 A、図 7 B の後続の工程を示す断面図である。

図 9 A および図 9 B はそれぞれ図 8 A、図 8 B の後続の工程を示す断面図である。

15 図 10 A および図 10 B はそれぞれ図 9 A、図 9 B の後続の工程を示す断面図である。

図 11 A および図 11 B はそれぞれ図 10 A、B の後続の工程を示す断面図である。

図 12 A および図 12 B はそれぞれ図 11 A、図 11 B の後続の工程を示す断面図である。

20 図 13 A および図 13 B はそれぞれ図 12 A、図 12 B の後続の工程を示す断面図である。

図 14 A および図 14 B はそれぞれ図 13 A、図 13 B の後続の工程を示す断面図である。

25 図 15 A および図 15 B はそれぞれ図 14 A、図 14 B の後続の工程を示す断面図である。

図 16 A および図 16 B はそれぞれ図 15 A、図 15 B の後続の工程を示す断

面図である。

図 1 7 A および図 1 7 B はそれぞれ図 1 6 A, 図 1 6 B の後続の工程を示す断面図である。

5 図 1 8 A および図 1 8 B はそれぞれ図 1 7 A, 図 1 7 B の後続の工程を示す断面図である。

図 1 9 A および図 1 9 B はそれぞれ図 1 8 A, 図 1 8 B の後続の工程を示す断面図である。

図 2 0 A および図 2 0 B はそれぞれ図 1 9 A, 図 1 9 B の後続の工程を示す断面図である。

10 図 2 1 A および図 2 1 B はそれぞれ図 2 0 A, 図 2 0 B の後続の工程を示す断面図である。

図 2 2 A および図 2 2 B はそれぞれ図 2 1 A, 図 2 1 B の後続の工程を示す断面図である。

15 図 2 3 A および図 2 3 B はそれぞれ図 2 2 A, 図 2 2 B の後続の工程を示す断面図である。

図 2 4 A および図 2 4 B はそれぞれ図 2 3 A, 図 2 3 B の後続の工程を示す断面図である。

図 2 5 A および図 2 5 B はそれぞれ図 2 4 A, 図 2 4 B の後続の工程を示す断面図である。

20 図 2 6 は、第 1 の変形例における薄膜磁気ヘッドを構成する第 1 の導体群および接続部群を示す平面図である。

図 2 7 は、同じく第 2 の導体群を示す平面図である。

図 2 8 A は、第 2 の変形例における薄膜磁気ヘッドの図 4 A 同様の断面図、図 2 8 B は図 4 B 同様の断面図である。

25 図 2 9 A および図 2 9 B は、別の製造方法による一工程を示す断面図である。

図 3 0 A および図 3 0 B は、それぞれ図 2 9 A, 図 2 9 B の後続の工程を示す

断面図である。

図 3 1 A および図 3 1 B は、それぞれ図 3 0 A、図 3 0 B の後続の工程を示す断面図である。

図 3 2 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドを示す平面図である。

図 3 3 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドを備えたハードディスク装置を示す斜視図である。

#### 好適な実施の形態の詳細な説明

##### 【0031】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。なお、同一要素には同一符号を用い、重複する説明は省略する。

##### 【0032】

#### 第 1 の実施の形態

##### (薄膜磁気ヘッドの構造)

まず、図 1 ～図 4 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構造について説明する。ここで、図 1 は本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド 3 0 0 の主要部を示す分解斜視図である。図 2 は、薄膜コイル 1 1 0 を構成する第 1 の導体群 1 1 7 および接続部群 1 3 0 を示す平面図、図 3 は同じく第 2 の導体群 1 2 0 を示す平面図である。図 4 A は図 2 の IV-IV 線断面図、図 4 B はエアベアリング面 3 0 に平行な断面図である。

##### 【0033】

第 1 の実施の形態にかかる薄膜磁気ヘッド 3 0 0 は、基板 1 と、基板 1 に積層された再生ヘッドおよび記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを有し、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面 3 0 を有している。なお、以下では、薄膜磁気ヘッド 3 0 0 の主要部の構造について説明し、薄膜磁気ヘッドの構造のその他の部分については、後述する製造工程の中で説明する。

#### 【0034】

再生ヘッドは、エアベアリング面30の近傍に配置された磁氣的信号検出用のGMR素子5を有している。また、再生ヘッドはエアベアリング面30側においてGMR素子5を挟んで対向するように配置され、GMR素子5をシールドして  
5 いる下部シールド層3および上部シールド層8を有し、さらに、GMR素子5と下部シールド層3との間に配置された下部シールドギャップ膜4と、GMR素子5と上部シールド層8との間に配置された上部シールドギャップ膜7とを有している。

#### 【0035】

記録ヘッドは、下部磁極層10、上部磁極層25、記録ギャップ層24および  
10 薄膜コイル110を有し、これらが基板1上に積層された構成を有している。下部磁極層10および上部磁極層25は、エアベアリング面30の側に互いに対向する磁極部（対向磁極部）を有し、後述する連結部31において互いに磁氣的に連結されている。記録ギャップ層24は、下部磁極層10の対向磁極部と上部磁極層25の対向磁極部との間に形成されている。薄膜コイル110は、下部磁極層10および上部磁極層25に対して絶縁された状態で、上部磁極層25の回り  
15 に螺旋状に巻回されている。本実施の形態における下部磁極層10と上部磁極層25は、それぞれ本発明における第1の磁極群と第2の磁極群に対応している。

#### 【0036】

下部磁極層10は、図4に示すように、第1の磁極部10aと、第2の磁極部10bと、第3の磁極部10cとを有し、第4の磁極部10dと、第5の磁極部10eと、第6の磁極部10fおよび第7の磁極部10gを有している。

第1の磁極部10aは、薄膜コイル110の後述する第1の導体群117に対向するように配置されている。第2の磁極部10bは、エアベアリング面30の  
25 近傍において、第1の磁極部10aよりも上部磁極層25側に突出するようにして、第1の磁極部10aに接続されている。第3の磁極部10cは、第1の導体



群 117、後述する第2の導体群 120の一部を挟んでエアベアリング面 30 から離れた位置において、第1の磁極部 10a よりも上部磁極層 25 側に突出するようにして、第1の磁極部 10a に接続されている。この第3の磁極部 10c は、  
5 図2に示すように、柱部 32a と、柱部 32a からエアベアリング面 30 側に向かって突出する突出部 32b とを有し、突出部 32b は円柱の一部をなす曲面（円柱状曲面）を有している。柱部 32a は、平面形状が長方形の柱状に形成されている。

#### 【0037】

第3の磁極部 10c、第5の磁極部 10e および第7の磁極部 10g は上部磁極層 25 と下部磁極層 10 とを磁氣的に連結する連結部 31 を構成している（図 4A 参照）。また、第6の磁極部 10f のうち、記録ギャップ層 24 を挟んで後述するトラック幅規定部 25A と対向する部分が、本発明における対向磁極部となっている。第6の磁極部 10f は、トラック幅規定部 25A と対向する部分において、第4の磁極部 10d よりもエアベアリング面 30 との間の幅が狭くなっ  
10 15 て、これにより、記録ギャップ層 24 が多段構成になっている。

#### 【0038】

また、下部磁極層 10 と上部磁極層 25 は、図 4B に示すように、トリム構造を有している。このトリム構造により、狭トラックの書込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加が防止されるようになっている。

上部磁極層 25 は図 1 に示すように、エアベアリング面 30 側において記録ギャップ層 24 に接する第1の磁極部 25a と、第1の磁極部 25a の上に配置された第2の磁極部 25b とを有している。また、上部磁極層 25 は、トラック幅規定部 25A と、ヨーク部 25B とを有している。トラック幅規定部 25A は、本発明における対向磁極部であって、記録トラック幅を規定する。また、トラック幅規定部 25A は、エアベアリング面 30 に配置される端部を有し、この端部  
20 25 からヨーク部 25B につながる腕部を有している。ヨーク部 25B は、一定の幅

を有する定幅部と、定幅部からトラック幅規定部25Aに近づくにしたがい、漸次幅が狭まる先細部とを有している。

【0039】

5 薄膜コイル110は、第1の導体群117と、第2の導体群120と、接続部群130とを有し、これらがつながることによって、一連の6ターンループを形成し、上部磁極層25の回りに螺旋状に巻回されている。

10 図2および図4Aに示すように、第1の導体群117は、下部磁極層10と上部磁極層25との間に配置された第1の内導体部111、113、115と、第2の内導体部112、114、116とを有している。第1の導体群117は、各内導体部111～116の互いに隣り合うもの同士が後述する分離用絶縁膜15を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1の磁極部10aにおける絶縁膜11が配置された領域に設けられている。また、内導体部111が分離用絶縁膜15を介して後述する内緩和部100に接触し、内導体部116が第3の磁極部10cに分離用絶縁膜15を介して接触している（図1および図4A参照）。

15 【0040】

各内導体部111～116は、それぞれ矩形状端部111a～116aと、矩形状端部111b～116bとを有し、各矩形状端部の間の部分がエアベアリング面30に沿った方向（図2のY方向）に長いつなぎ部111c～116cとなっている。そして、第1の導体群117は、各つなぎ部111c～116cにおいて、エアベアリング面30に交差する方向（交差方向、図2および図3におけるX方向）の配置密度が変化する密度変化構造を有している。つまり、内導体部111～116は、エアベアリング面30から突出部32bまでの最短ライン50の長さと同じ幅Wの領域に配置されている個数（配置数）が、上部磁極層25の外側から上部磁極層25に向かい1本から6本まで順次増加している。これにより、第1の導体群117は、上部磁極層25に近づくにしたがい内導体部111～116が次第に密集し、巻線ピッチが小さくなるようになっている。

#### 【0041】

また、内導体部111~116は、上部磁極層25に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの電流の流れる方向に交差する方向の幅（経路幅）が漸次広がる可変幅構造を有し、第3の磁極部10cの突出部32bに対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。

#### 【0042】

分離用絶縁膜15は、厚さが第1の導体群117の底部と下部磁極層10との間の最短距離以下に形成されている。つまり、図4Aに示すように、第1の導体群117と下部磁極層10との間の最短距離は、内導体部111, 113, 115の底部と下部磁極層10との間に介在している絶縁膜11の厚さと等しく、分離用絶縁膜15の厚さが絶縁膜11の厚さ以下になっている。

#### 【0043】

次に、図3に示すように、第2の導体群120は、いずれも上部磁極層25の外側における第1の導体群117とは異なる平面上に配置された第1の外導体部121, 123, 125と、第2の外導体部122, 124, 125とを有している。また、第2の導体群120は、各外導体部121~126の互いに隣り合うもの同士が分離用絶縁膜34を介して接触する絶縁接触構造を有している。そして、外導体部121が分離用絶縁膜34を介して後述する外緩和部101に接触し、外導体部126が絶縁部33に分離用絶縁膜34を介して接触している（図4A参照）。

#### 【0044】

外導体部121~126はそれぞれ矩形状端部121a~126aと、矩形状端部121b~126bとを有し、各矩形状端部の間の部分がエアベアリング面30に沿った方向に長いつなぎ部121c~126cとなっている。第2の導体群120は、第1の導体群117と同様に、外導体部121~126のつなぎ部121c~126cにおいて、エアベアリング面30に交差する方向の配置密度

が変化する密度変化構造を有している。

【0045】

また、外導体部121～126も、上部磁極層25に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの経路幅が漸次広がる可変幅構造を有し、第3の磁極部10cの突出部32bに対応した箇所に、その経路幅が最も狭い最狭部を有している。

【0046】

接続部群130は、複数の接続部131～141を有している。接続部131～141は、各内導体部111～116と各外導体部121～126とを接続するために設けられたもので、上部磁極層25よりも外側において、エアベアリング面30に沿って配置され、次のようにして設けられている。すなわち、接続部131, 133, 135, 137, 139, 141は、それぞれ、外導体部121～126の矩形状端部121b～126bと、内導体部111～116の矩形状端部111a～116aとを接続するように設けられている。また、接続部132, 134, 136, 138, 140は、それぞれ、外導体部122～126の矩形状端部122a～126aと、内導体部111～115の矩形状端部111b～115bとを接続するように設けられている。さらに、接続部142は、リード層127と内導体部116の矩形状端部116bとを接続するように設けられている。

【0047】

そして、薄膜コイル110は、外導体部121から接続部131を介して内導体部111へとつながり、さらに、内導体部111から接続部132を介して外導体部122へとつながり、これによって、1ターンのループを形成している。

以下同様にして5ターンのループが形成されることによって、薄膜コイル110-

が全体で一連の螺旋状ループを形成している。その後、薄膜コイル110はリード層127から図示しない外部の電極パッドに接続されている（外導体部121

にも図示しない電極パッドが接続されている)。

#### 【0048】

5 薄膜磁気ヘッド300では、薄膜コイル110のエアベアリング面30側に配置された内導体部111と、同じく、エアベアリング面30側に配置された外導体部121とがそれぞれ分離用絶縁膜15、34を介して、内緩和部100、外緩和部101に接触している。これら内緩和部100、外緩和部101は、内導体部111および外導体部121と、エアベアリング面30との間において、それぞれ第2の磁極部10b、絶縁部33と接触するように形成されている。内緩和部100、外緩和部101は、薄膜コイル110と、下部磁極層10および上部磁極層25のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、例えばフォトレジストや、ポリイミド樹脂、SOG (Spin On Glass) 膜等をスピンコートにより塗布する技術で形成することができる。

#### 【0049】

15 また、内緩和部100、外緩和部101は、好ましくは薄膜コイル110または下部磁極層10のいずれか少なくとも一方よりも自己(熱)膨張率の小さい方が好ましい。その方が、薄膜コイル110の自己膨張によって、第2の磁極部10bを横方向(X方向)に押しやる力を効果的に抑制することができる。内緩和部100および外緩和部101は、薄膜コイル110および下部磁極層10よりも自己(熱)膨張率が大きくてもよいが、その場合は、内導体部111、外導体部121よりも、エアベアリング面30に交差するX方向の幅を狭くするように寸法を調節すればよい。

#### 【0050】

25 以上のように、薄膜磁気ヘッド300では、薄膜コイル110が絶縁接触構造を有し、第1の導体群117を構成する各内導体部111~116と、第2の導体群120を構成する外導体部121~126とが絶縁膜(それぞれ、分離用絶縁膜15、34)を介して接触している。そのため、各内導体部111~116

と外導体部 1 2 1 ~ 1 2 6 は、それぞれ互いに隣り合うもの同士の間絶縁膜のみが介在し、それぞれの間隔がその絶縁膜（分離用絶縁膜 1 5, 3 4）の厚さに等しくなっている。よって、各内導体部 1 1 1 ~ 1 1 6 は、隣り合うもの同士の間隙間がほとんどなく密集して高密に配置され、外導体部 1 2 1 ~ 1 2 6 も隣り合うもの同士の間隙間がほとんどなく密集して高密に配置されている。したがって、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくても、ヨーク長を短縮することができる。また、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくてもよいので、電流の流れを妨げることが少なく、したがって、抵抗値の上昇が抑制されている。

#### 【0051】

そして、第 3 の磁極部 1 0 c が上部磁極層 2 5 と下部磁極層 1 0 とを磁氣的に連結する連結部 3 1 の一部を構成しているから、第 3 の磁極部 1 0 c（の突出部 3 2 b）とエアベアリング面 3 0 との間の最短距離、すなわち、最短ライン 5 0 の長さがヨーク長になる。したがって、第 1 の導体群 1 1 7 と、第 2 の導体群 1 2 0 が上述の高密配置を有していることによって、薄膜磁気ヘッド 3 0 0 では、ヨーク長がより短縮されている。

#### 【0052】

しかも、第 1 の導体部群 1 1 7 の両側に位置する内導体部 1 1 1、1 1 6 が分離用絶縁膜 1 5 のみを介して、それぞれ内緩和部 1 0 0、第 3 の磁極部 1 0 c に接触しており、このことがヨーク長の一層の短縮化に寄与している。

そして、薄膜コイル 1 1 0 は、第 1 の導体群 1 1 7 と第 2 の導体群 1 2 0 とが密度変化構造を有している。そのため、幅 W を狭めてヨーク長を短縮しても、最短ライン 5 0 上に巻線が確保され、薄膜コイル 1 1 0 のターン数が確保されるようになっている。したがって、薄膜磁気ヘッド 3 0 0 は、ターン数を確保しながらヨーク長を短縮することが可能である。これにより、高周波帯域における記録特性に優れた薄膜磁気ヘッドが実現される。しかも、薄膜コイル 1 1 0 における

密度変化構造を有する部分、すなわち、各つなぎ部111c~116c、121c~126cがエアベアリング面30のごく近傍に配置されるので、薄膜コイル110から発生する磁束が効率的に記録に用いられる。

#### 【0053】

5       また、内導体部111、外導体部121と、第2の磁極部10b、絶縁部33との間に、それぞれ内緩和部100、外緩和部101が形成されている。内緩和部100および外緩和部101は、薄膜コイル110と下部磁極層10および上部磁極層25のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなっている。そのため、薄膜コイル110が自ら生成する熱により膨張する自己膨張が発生しても、  
10   薄膜コイル110の自己膨張による幅の広がりを隣接する内緩和部100および外緩和部101により吸収することができる。つまり、したがって、内緩和部100および外緩和部101は、薄膜コイル110の自己膨張による幅の広がりを吸収するクッション材の役割を有している。薄膜磁気ヘッド300は、ターン幅の縮小化および高密度配置に伴い、薄膜コイル110が自己膨張を発生しやすくな  
15   っても、磁極部が記録媒体に近づくように突出することがないから、ターン数を確保しながらヨーク長を一層短縮することが可能である。

#### 【0054】

特に、薄膜磁気ヘッド300は、第1、第2の導体群117、120の双方を絶縁接触構造で形成し、隣接する内導体部111~116と、外導体部121~  
20   126同士の間には分離用絶縁膜34、15しか存在しないように高密度配置になっている。そのため、各内導体部111~116と、外導体部121~126とは互いに自己膨張の影響を受け易い構造になっている。したがって、薄膜磁気ヘッド300では、薄膜コイル110の自己膨張による幅の広がりを吸収する内緩和部100、外緩和部101の作用が一層効果的なものとなっている。

#### 【0055】

25   さらに、内導体部111~116と外導体部121~126とを接続する各接

続部が、上部磁極層 25 よりも外側において、エアベアリング面 30 に沿って配置されている。そのため、エアベアリング面 30 から各接続部までの距離が短縮されている。したがって、薄膜磁気ヘッド 300 の全体の大きさが小さくなり、薄膜磁気ヘッド 300 の小型化が可能である。

#### 【0056】

そして、内導体部 111 ~ 116 と外導体部 121 ~ 126 は、上述のような可変幅構造を有しているから、電流の流れを妨げることが少なく、抵抗値の上昇を抑制することができる。したがって、薄膜磁気ヘッド 300 は、薄膜コイル 110 による熱の発生を効果的に抑制することができる。また、第 3 の磁極部 101 による突出部 32b を有しているから、その突出部 32b に対応して各内導体部 111 から 116 および各外導体部 121 ~ 126 の幅が変化している。そして、各内導体部 111 ~ 116 および各外導体部 121 ~ 126 は、突出部 32b に対応した箇所に最狭部を有しているから、経路幅が狭くなる範囲が極力小さくなっている。よって、より一層電流が流れやすくなり、抵抗値の上昇が抑制されるようになっている。

#### 【0057】

なお、詳しくは後述するが、分離用絶縁膜 L5 は CVD 法によって形成される複数の薄いアルミナ膜が積層されてなっているから、緻密な膜である。そのため最短ライン 50 上に配置される第 2 の磁極部 10b から、第 1 の導体群 117 および第 3 の磁極部 10c までのそれぞれについて、相互の間隔を極めて小さくしながら確実に絶縁することができる。

#### 【0058】

後述するように、第 2 の磁極部 10b、第 4 の磁極部 10d、第 6 の磁極部 10f および上部磁極層 25 の材料として、高飽和磁束密度材料を用いることができるが、そうすると、磁路の途中で磁束の飽和を防止することができる。その結果、薄膜コイル 110 で発生した起磁力を効率よく記録に用いることができる。



【0059】

ところで、例えば上述した特許文献1に記載されているように、上部磁極層が幅の小さな磁極部分層と、その上面に接続された幅の大きなヨーク部分層とを含む薄膜磁気ヘッドでは、特に記録トラック幅が小さくなったときに以下のような問題が生じる。すなわち、まず、この種の薄膜磁気ヘッドでは、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分で磁路の断面積が急激に減少するため、この部分で磁束の飽和が生じ、ヨーク部分層から磁極部分層へ磁束が十分に伝達されないおそれがある。そのため、この薄膜磁気ヘッドではオーバーライト特性が劣化するおそれがある。

【0060】

また、上部磁極層が磁極部分層とヨーク部分層とを含む上記薄膜磁気ヘッドでは、ヨーク部分層から記録媒体に向けて磁束が漏れ、幅の大きなヨーク部分層によって、記録媒体に対して、データを記録すべき領域以外の領域にデータを書き込んでしまう、いわゆるサイドライトや、データを消去すべきでない領域のデータを消去してしまう、いわゆるサイドイレースが発生するおそれがある。いずれの場合にも、実効トラック幅が所望のトラック幅よりも大きくなってしまう。また、磁極部分層とヨーク部分層との位置関係は、フォトリソグラフィにおけるアライメントによって決定されるため、所望の位置関係からずれるときもある。そのようなと、サイドライトやサイドイレースが顕著に発生してしまう。

【0061】

これに対し、上述した薄膜磁気ヘッド300では、トラック幅を規定する上部磁極層25は平坦な層になっているので、磁極部分層とヨーク部分層との接続部分における磁束の飽和は発生しない。したがって、本実施の形態によれば、オーバーライト特性の劣化や、上述のようなサイドライトやサイドイレースが発生することはない。

【0062】

また、薄膜磁気ヘッド300は、平坦な下地の上に平坦な上部磁極層25を形成しているから、上部磁極層25のトラック幅規定部を微細にかつ精度よく形成することができる。これにより、例えば従来は薄膜磁気ヘッドを量産するときには困難とされた0.2 $\mu$ m以下のトラック幅を実現することが可能になる。

5 (薄膜磁気ヘッドの製造方法)

【0063】

次に、上述の図1～図4A、Bとともに、図5A、B～図25A、Bを参照して、上述の構造を有する第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。

10 【0064】

ここで、図5A～図25Aは、図2のIV-IV線に対応する各製造工程における断面を示している。図5B～図25Bは、対向磁極部のエアベアリング面30に平行な断面を示している。

【0065】

15 本実施の形態に係る製造方法では、まず、図5Aおよび図5Bに示すように、例えばアルミニウムオキシド・チタニウムカーバイド( $Al_2O_3 \cdot TiC$ )よりなる基板1の上に、例えばアルミナ( $Al_2O_3$ )よりなる絶縁層2を約2～5 $\mu$ mの厚さで堆積する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料(例えばパーマロイ)よりなる再生ヘッド用の下部シールド層3を約2～3 $\mu$ mの厚さで堆積する。下部シールド層3は、例えば、フォトレジストをマスクにして、めっき法によって  
20 絶縁層2の上に選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば約3～4 $\mu$ mの厚さで形成し、その絶縁膜を下部シールド層3が露出するまで、例えば化学機械研磨(以下「CMP」という)により研磨して、表面の平坦化処理を行う。

25 【0066】

次に、下部シールド層3の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜4を

例えば、約20～40nmの厚さで形成する。そして、下部シールドギャップ膜4の上に、GMR素子5を数十nmの厚みで形成する。このGMR素子5は、例えばスパッタによって形成したGMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、GMR素子5はエアベアリング面30が形成される位置の近傍に配置する。なお、GMR素子5には、AMR素子、MR素子、あるいはTMR（トンネル磁気抵抗効果）素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。

#### 【0067】

次に、図示しないが、下部シールドギャップ膜4の上に、GMR素子5に電気的に接続される一対の電極層を数十nmの厚さで形成する。さらに、下部シールドギャップ膜4およびGMR素子5の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜7を例えば約20～40nmの厚さで形成し、GMR素子5を下部シールドギャップ膜4と上部シールドギャップ膜7の中に埋設する（なお図示の都合上、下部シールドギャップ膜4と上部シールドギャップ膜7の境界の表示を省略している）。下部シールドギャップ膜4と上部シールドギャップ膜7に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）等がある。また、下部シールドギャップ膜4と上部シールドギャップ膜7はスパッタ法により形成してもよいし、化学的気相成長法（以下「CVD法」という）により形成してもよい。

#### 【0068】

次に、上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料よりなる再生ヘッド用の上部シールド層8を約1.0～1.5 $\mu$ mの厚さで、例えばNiFeにより選択的に形成する。そして、ここまでの工程で得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなり、上部シールド層8と後に形成される記録ヘッドとを分離する絶縁層9を例えば約0.2～0.3 $\mu$ mの厚さで形成する。

次に、図6Aおよび図6Bに示すように、絶縁層9の上に、本発明における第

1の磁極層として、下部磁極層10を構成する第1の磁極部10aを例えば0.5～1.0 $\mu$ mの厚さで形成する。

#### 【0069】

5 この場合、第1の磁極部10aは、高飽和磁束密度材料であるCoNiFe (2.3T)、CoFeN (2.4T)等を材料に用い、スパッタ法で形成する。なお、第1の磁極部10aは、材料としてNiFe (Ni:80重量%、Fe:20重量%)や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni:45重量%、Fe:55重量%)等を材料に用い、めっき法によって形成してもよい。ここでは、一例として、飽和磁束密度がCoNiFe (2.3T)または2.4TのCoFeNを用いて、スパッタ法で形成する場合を想定している。

#### 【0070】

次に、第1の磁極部10aの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜11を例えば0.2 $\mu$ mの厚さで形成する。続いて、その絶縁膜11を選択的にエッチングして、第2の磁極部10bと、第3の磁極部10cを形成すべき位置において、絶縁膜11に開口部を設ける。

そして、図示しないが、第1の磁極部10aおよび絶縁膜11を覆うように、例えばスパッタ法により、導電性材料よりなる電極膜を約50～80nmの厚さで形成する。この電極膜はめっきの際の電極およびシード層として機能する。

#### 【0071】

20 さらに、図示しないが、電極膜の上にフォトリソグラフィによって、フレームを形成する。このフレームは、薄膜コイル110を構成する第1の内導体部111, 113, 115をフレームめっき法によって設けるために形成する。

次に、図7Aおよび図7Bに示すように、電極膜を用いて電気めっきを行い、例えばCu (銅)よりなるめっき層を形成する。このめっき層およびその下の図示しない電極膜が第1の内導体部111, 113, 115を構成する。第1の内導体部111, 113, 115の厚さは、例えば3.0～3.5 $\mu$ mである。な

お、図7A、Bには示していないが、このめっき層を形成するときに、各矩形状端部も形成されている。次に、フレームを除去した後、電極膜について、第1の内導体部111、113、115（それぞれの矩形状端部を含む）の下に存在する部分を残し、その他の部分を例えばイオンビームエッチングにより除去する。

#### 【0072】

そして、図示しないが、フォトリソグラフィによって、第1の磁極部10aおよび絶縁膜11の上にフレームを形成する。このフレームは第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cをフレームめっき法によって設けるために形成する。

続いて、電気めっきを行い、第1の磁極部10aの上に、本発明における第2の磁極層として、ヨーク長を決める位置に配置された第3の磁極部10cとともに、第2の磁極部10bをそれぞれ磁性材料を用いて、例えば3.5~4.0μmの厚さで形成する。このとき、第2の磁極部10bと、第1の内導体部111との間に、内緩和部100を形成するための内緩和部用間隙102を第1の内導体部111に隣接するように設ける。なお、内緩和部用間隙102は第1の内導体部111よりも幅を狭くしている。

#### 【0073】

また、第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cの材料としては、例えば高飽和磁束密度材料が用いられる。例えば、飽和磁束密度が2.3TのCoNiFeや、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いることができる。本実施の形態では、第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを電気めっきによって形成する際に、特別な電極膜を設けることなく、パターニングされていない第1の磁極部10aをめっき用の電極およびシード層として用いる。

なお、上述のように、第1の内導体部111、113、115を形成した後に第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを形成する代わりに、第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを形成した後に第1の内導体部111、113、115を形成してもよい。

#### 【0074】

さらに、図8Aおよび図8Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、各内導体部、第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを分離するための、アルミナよりなる分離用絶縁膜15（膜厚は約0.1 $\mu$ m）を例えばCVD法によつて形成する。これにより、第2の磁極部10bと内導体部111との間、すなわち、内緩和部用間隙102と、各内導体部111、113、115の間と、内導体部115と第3の磁極部10cとの間に、それぞれ分離用絶縁膜15で覆われた内溝部が複数形成される。なお、分離用絶縁膜15の厚さは絶縁膜1-1の厚さ以下、すなわち、0.2 $\mu$ m以下にするのが好ましく、特に0.08~0.15 $\mu$ mの範囲内に設定するのが好ましい。この分離用絶縁膜15は例えば減圧下で100℃以上の温度下で、薄膜形成に用いられる材料としてのH<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>OまたはH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>と、薄膜形成に用いられる材料としてのAl(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>またはAlCl<sub>3</sub>が交互に断続的に噴射されることにより、CVD法によって形成される膜でもよい。この形成方法によると複数の薄いアルミナ膜が積層されることにより、所望の厚さを有する分離用絶縁膜15が得られ、各内導体部を互いの間隔を狭めつつ確実に絶縁することができる。

#### 【0075】

次に、図9Aおよび図9Bに示すように、分離用絶縁膜15で覆われた内緩和部用間隙102に、フォトレジスト、ポリイミド樹脂、SOG等からなる被膜を選択的に形成する。すると、内緩和部用間隙102に内緩和部100が形成される。その後第2の磁極部10bおよび第3の磁極部10cを被覆する絶縁膜16を選択的に形成し、続いて積層体の全面に、Cuからなる電極膜17aを約200~500Åの厚さで形成する。電極膜17aはスパッタ法により第1の導電膜を形成し、その第1の導電膜の上にCVD法により第2の導電膜を形成することによって形成しており、後に行われるめっきにおける電極およびシード層として機能する。さらに続いてめっきを行い、例えばCuよりなる導電層17bを約3

～5  $\mu\text{m}$ の厚さで選択的に形成する。こうすることにより、第1の内導体部111, 113, 115と、第3の磁極部10cとの間の内溝部に導電層17bが確実に埋め込まれる。

5      そして、図10Aおよび図10Bに示すように、導電層17bをマスクにして例えばイオンビームエッチングにより、電極膜17aを選択的にエッチングし、続いて、積層体の上面全体を覆うように、アルミナからなる絶縁膜18を約4～6  $\mu\text{m}$ の厚さで形成する。

#### 【0076】

10      次に、図11Aおよび図11Bに示すように、絶縁膜18で覆われた表面を第1の内導体部111, 113, 115が露出するまでCMPにより研磨して、表面の平坦化処理を行う。この研磨により、各内溝部、すなわち第1の内導体部111, 113, 115の間と、第1の内導体部115と第3の磁極部10cとの間に残った導電層17bおよび電極膜17aによって、第2の内導体部112, 114, 116が形成される。このとき得られる第2の内導体部112, 114, 116と、前述の第1の内導体部111, 113, 115とによって、第1の  
15      導体群117が形成される。こうして得られる第2の内導体部112, 114, 116は、各内溝部に埋め込まれて形成されているので、第1の内導体部111, 113, 115に隣り合うように配置されている。しかも、第2の内導体部112, 114, 116は隣り合う第1の内導体部111, 113, 115との間に分離用絶縁膜15のみが介在している。したがって、第1の内導体部111, 113, 115と、第2の内導体部112, 114, 116とは互いに絶縁接触  
20      構造を形成している。さらに、第1の内導体部111と、第2の磁極部10bとの間には内緩和部100が形成されている。

#### 【0077】

25      次に、図12Aおよび図12Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように例えばアルミナよりなる絶縁膜20を例えば0.2  $\mu\text{m}$ の厚さで形成し、その絶

縁膜 20 のうち、第 2 の磁極部 10 b に対応する部分、第 3 の磁極部 10 c に対応する部分、内導体部 111 ~ 116 の各矩形状端部に対応する部分を選択的にエッチングして、開口する。次に、エッチングにより露出した第 2 の磁極部 10 b と、第 3 の磁極部 10 c の上に、例えばフレームめっき法により、本発明における第 3 の磁極層を構成する第 4 の磁極部 10 d と第 5 の磁極部 10 e とを形成し、内導体部 111 ~ 116 の各矩形状端部の上に、本発明における下部接続層を形成する。なお、図 12 A では、下部接続部層と、矩形状端部の図示を省略している。第 4 の磁極部 10 d および第 5 の磁極部 10 e は高飽和磁束密度材料、例えば、飽和磁束密度が 2.3 T の  $\text{CoNiFe}$  や、飽和磁束密度が 2.4 T の  $\text{CoFe}$  を材料に用いることができ、厚さは 0.3 ~ 0.5  $\mu\text{m}$  で形成する。

#### 【0078】

さらに、図 13 A および図 13 B に示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えば、アルミナよりなる絶縁膜 21 を 0.5 ~ 0.8  $\mu\text{m}$  の厚さで形成する。そして、例えば CMP により、第 4 の磁極部 10 d および第 5 の磁極部 10 e が 0.3 ~ 0.5  $\mu\text{m}$  の厚さになるように表面を研磨する。

続いて、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性層 22 を 0.3 ~ 0.5  $\mu\text{m}$  の厚さで形成する。磁性層 22 の材料としては、例えば、 $\text{CoFeN}$  を用いることができる。さらに、積層体の上面全体を覆うように、フォトレジストを形成した後、所定のフォトマスクを用いて、第 4 の磁極部 10 d と第 5 の磁極部 10 e の間の部分が開口するようにパターニングを行い、フォトレジスト 41 を形成する。

#### 【0079】

次に、図 14 A および図 14 B に示すように、フォトレジスト 41 をマスクにしてイオンビームエッチングを行い、磁性層 22 のフォトレジスト 41 で被覆されない部分を除去する。さらに、フォトレジスト 41 をマスクにして、積層体の上面全体を覆うように、アルミナよりなる絶縁膜 23 を 0.3 ~ 0.6  $\mu\text{m}$  の厚



さで形成 (RE-FEEL) する。そして、絶縁膜 23 とフォトレジスト 41 を除去すると、図 15A および図 15B に示すように、本発明における第 3 の磁極層を構成する第 6 の磁極部 10f と第 7 の磁極部 10g とが得られる。こうして得られる第 6 の磁極部 10f および第 7 の磁極部 10g と、上述の第 1 の磁極部 10a、第 2 の磁極部 10b、第 3 の磁極部 10c、第 4 の磁極部 10d および第 5 の磁極部 10e とによって、本発明における第 1 の磁極群が形成される。

#### 【0080】

絶縁膜 23 と、第 6 の磁極部 10f および第 7 の磁極部 10g はエッジが凸状になっているので、その表面を CMP で軽く研磨する。その後、図 16A および図 16B に示すように、積層体の全面を覆うように、ギャップ膜 26 を 0.08  $\mu\text{m}$  の厚さで形成し、第 7 の磁極部 10g が露出するようにして、ギャップ膜 26 に開口部を設ける。このギャップ膜 26 は、 $\text{SiO}_2$ 、Ru、AlCu など で形成することができるが、ここでは、アルミナで形成する場合を想定している。

#### 【0081】

そして、図 17A および図 17B に示すように、積層体の上面全体を覆うように、第 1 の磁極部 25a を形成するため、例えば  $\text{CoFeN}$  からなる磁性層 40 をスパッタ法により、0.2 ~ 0.5  $\mu\text{m}$  の厚さで形成する。さらに、積層体の上面全体を覆うように、フォトレジストを塗布した後、所定のフォトマスクを用いて、第 1 の磁極部 25a の部分が残るようにパターニングを行い、フォトレジスト 42 を形成する。また、残されたフォトレジスト 42 をマスクにして、磁性層 40 にイオンビームエッチングを行い、さらに続いてアルミナよりなる絶縁膜 27 を 0.2 ~ 0.6  $\mu\text{m}$  の厚さで形成 (RE-FEEL) する。そして、絶縁膜 27 とともにフォトレジスト 42 を除去するリフトオフを行うと、図 18A および図 18B に示すように、フォトレジスト 42 に被覆されていたところに磁性層 40 が残る。

#### 【0082】

次に、絶縁膜27と、磁性層40はエッジが凸状になっているので、その表面をCMPで軽く研磨する。その後、第2の磁極部25bを形成するため、図19Aおよび図19Bに示すように、積層体の全面を覆うようにして、例えばCoFeN(2.4T)からなる磁性層43をスパッタ法により、0.8~1.5 $\mu$ mの厚さで形成する。磁性層43は、CoFeまたはCoNiFeを用いてめっきにより、全面に形成してもよい。

#### 【0083】

次いで、図20Aおよび図20Bに示すように、積層体の全面を覆うようにして、アルミナよりなる絶縁膜35を1.0~2.0 $\mu$ mの厚さで形成する。その後、めっきのシード層となる電極膜(図示せず)を積層体の全面を覆うように形成し、その上にめっき膜36を0.5~1.0 $\mu$ mの厚さで形成する。また、図示しないレジストパターンを用いてめっき膜36をエッチングし、めっき膜36をトラック幅規定部に対応した箇所に残す。また、その残されためっき膜36により、図示しない電極膜をエッチングする。めっき膜36は、CoNiFe、CoFe、NiFeのいずれかで形成し、厚さは0.5~1.0 $\mu$ m程度で形成する。

#### 【0084】

次に、図21Aおよび図21Bに示すように、残されためっき膜36をマスクにして、Cl<sub>2</sub>およびBCl<sub>3</sub>を4対1または5対1の割合で含むハロゲン系ガスを用いて、絶縁膜35に反応性イオンエッチング(以下「RIE」という)を行う。

引き続いて、図22Aおよび図22Bに示すように、絶縁膜35をマスクにして、50℃~300℃、好ましくは200℃ $\pm$ 50℃の範囲内の温度で、Cl<sub>2</sub>ガスか、Cl<sub>2</sub>およびCo<sub>2</sub>を含むハロゲン系ガスを用いて磁性層40および磁性層43にRIEを行う。さらに続いて、絶縁膜35をマスクにして、Cl<sub>2</sub>およびBCl<sub>3</sub>を含むハロゲン系ガスを用いてギャップ膜26にRIEを行い、その

後、 $\text{Cl}_2$ ガスか、 $\text{Cl}_2$ および $\text{CO}_2$ を含むハロゲン系ガスを用いて、第6の磁極部10fにRIEを行う。これにより、図22Bに示すようなトリム構造が得られる。

#### 【0085】

5 このとき、ギャップ膜26における第6の磁極部10fと第1の磁極部25aの間の部分および絶縁膜23の第5の磁極部10dに配置されている部分が記録ギャップ層24となり、記録ギャップ層24が多段構成となる。また、磁性層40の残された部分が第1の磁極部25aとなり、磁性層43の残された部分が第2の磁極部25bとなる。その第1の磁極部25aと第2磁極部25bにより、  
10 本発明における第2の磁極群（上部磁極層25）が上部磁極層10の上に形成される。なお、第6の磁極部10fのエアベアリング面30から離れた内側の端部により、記録ヘッドのスロートハイトが与えられる。スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層24を介して対向する部分、すなわち対向磁極部の、エアベアリング面30側端部から反対側（内側）端部までの距離（長さ）hを示して  
15 いる。

#### 【0086】

さらに、図23Aおよび図23Bに示すように、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜37を2～3 $\mu\text{m}$ の厚さで形成して、その表面をCMPで研磨して平坦化する。また、絶縁膜37における下部接続層の上に  
20 存在する部分を選択的にエッチングした上で、フレームめっき法により上部接続層を形成する。これによって、接続部群130が形成される。そして、アルミナよりなる絶縁膜39を第1の外導体部121、123、125と、後に形成される第2の外導体部122、124、126および外緩和部101の範囲に、例えば0.2 $\mu\text{m}$ の厚さで形成する。また、絶縁膜39を介して第1の外導体部12  
25 1、123、125を形成するため、その絶縁膜39の上に図示しない電極膜を形成した後、その電極膜を用いて電気めっきを行い、例えばCu（銅）よりなる

めっき層を形成する。このめっき層およびその下の図示しない電極膜が第1の外導体部121, 123, 125を構成する。このめっき層を形成するときに、各矩形状端部も形成されている。

#### 【0087】

5       そして、積層体の上面全体を覆うようにして、フォトレジスト44を形成した上で、図示しないフォトマスクを用いてパターンニングを行い、フォトレジスト44を第1の外導体部121, 123, 125と、後に形成される第2の外導体部122, 124, 126および後に形成される外緩和部用間隙103の範囲に残す。それから、再び、アルミナよりなる絶縁膜33を4~5 $\mu$ mの厚さで形成する。

#### 【0088】

10       次に、図24Aおよび図24Bに示すように、絶縁膜33をフォトレジスト44が露出するまで、CMPにより研磨して、表面の平坦化処理を行う。すると残った絶縁膜33が本発明における絶縁部となる。

15       次いで、図25Aおよび図25Bに示すように、CMPにより露出したフォトレジスト44を除去して、積層体の上面全体を覆うように、分離用絶縁膜34として、アルミナよりなる絶縁膜を0.1 $\mu$ mの厚さで形成する。このとき、第1の外導体部121と絶縁膜33の間に、外緩和部用間隙103が形成される。

#### 【0089】

20       その後、分離用絶縁膜34で覆われた外緩和部用間隙103を被覆するようにフォトレジスト、ポリイミド樹脂、SOG等からなる被膜を内緩和部用間隙102の場合と同様にして形成する。すると、外緩和部用間隙103に外緩和部101が形成される。続いて積層体の全面にスパッタ法、CVD法によりCuからなる電極膜37aを約500~800Åの厚さで形成する。この電極膜37aは後  
25       に行われるめっきにおける電極およびシード層として機能する。さらに続いて、例えばCuよりなる導電層37bを約3~4 $\mu$ mの厚さで全面に形成する。こう

することによって、第1の外導体部121、123、125と、絶縁膜33との間の外溝部に導電層37bが確実に埋め込まれる。

#### 【0090】

それから図4Aおよび図4Bに示すように、第1の外導体部121、123、125が露出するまで、電極膜37aと導電層37bをCMPにより研磨して、表面の平坦化処理を行う。この研磨により、各外溝部、すなわち第1の外導体部121、123、125の間と、第1の外導体部125と絶縁膜33との間に残った導電層37bおよび電極膜37aによって、第2の外導体部122、124、126が形成される。このとき得られる第2の外導体部122、124、126と、前述の第1の外導体部121、123、125とによって、第2の導体群120が形成される。

#### 【0091】

こうして得られる第2の外導体部122、124、126は各外溝部に埋め込まれて形成されているので、第1の外導体部121、123、125に隣り合うように配置されている。しかも、第2の外導体部122、124、126は隣り合う第1の外導体部121、123、125との間に分離用絶縁膜34のみが介在しているから、第1の外導体部121、123、125と、第2の外導体部122、124、126も互いに絶縁接触構造を形成している。さらに、第1の外導体部121と、絶縁膜33との間には外緩和部101が形成されている。

さらに、積層体の上面全体を覆うように例えばアルミナよりなる絶縁膜（オーバコート層）29を形成すると、第1の導体群117、第2の導体群120および接続部層群130とによって、薄膜コイル110が形成され、薄膜磁気ヘッド300が得られる。

#### 【0092】

こうして得られる薄膜磁気ヘッド300は、上述の構成を有するから、抵抗値を上がることなく、高周波帯域における記録特性が良好になっている。また、上

述の製造工程では、各第1の内導体部および第1の外導体部の間に分離用絶縁膜で覆われた溝部を複数設け、その各溝部にそれぞれ第2の内導体部および第2の外導体部を設けて薄膜コイル110を得ている。この製造方法により得られる薄膜コイル110は、先に形成される第1の内導体部および第1の外導体部が後に形成される第2の内導体部および第2外導体部のフレームとして機能するため、各導体部の間隔が製造過程で設けられるフレームの幅に影響されることはない。よって、先に形成すべき各導体部をフレームめっきで形成しても、絶縁接触構造により、各導体部の間隔を極力狭めることができる。また、上述の製造工程では内緩和部100、外緩和部101が第1の導体群117と、第2の導体群120の双方に形成されるから、薄膜コイル110の自己膨張を効果的に吸収可能な薄膜磁気ヘッド300が得られる。

以下、上述した薄膜磁気ヘッド300の構造における第1～第4の変形例について説明する。

#### 【0093】

##### (第1の変形例)

第1の変形例における薄膜磁気ヘッド300は、薄膜コイルの構成が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行い、共通点についての説明は省略ないし簡略化する。ここで、図26は第1の変形例における薄膜コイルのうち、第1の導体群117および各接続部を示す平面図、図27は同じく第2の導体群120を示す平面図である。

#### 【0094】

図26および図27に示すように、第1の変形例における薄膜コイルは、第1の導体群117、第2の導体群120および接続部群130を有しているが、接続部群130の構成が相違している。第2の変形例における接続部群130も、複数の接続部131～142を有しているが、各接続部131～142は、隣り合うもの同士で、エアベアリング面30からの距離が相違する位置に配置されて

いる。すなわち、接続部131, 133, 135, 137, 139, 141と、  
132, 134, 136, 138, 140, 142の順にそれぞれエアベアリン  
グ面30からの距離が拡大している。また、交差方向の間隔が上述の薄膜コイル  
110と比較して狭められている。

#### 【0095】

各接続部131~142をこのような位置に配置することにより、各接続部1  
31~142は、エアベアリング面30に沿った方向と交差方向の双方の方向に  
ずれている。このようにして、第1の変形例における薄膜コイルは、各接続部の  
周囲に、絶縁膜20, 23, 27の配置される領域を広く確保できるようにして  
いる。

#### 【0096】

上述した薄膜コイル110では、各接続部131~142が、エアベアリング  
面30からの距離が等しい位置に配置されているため、それぞれが互いに邪魔を  
し合い、絶縁膜20, 23, 27の配置される領域を広く確保し難くなってい  
る。したがって、隣り合う各接続部の間に絶縁層20, 23, 27が十分に入り  
込み難く、空隙が生じるおそれがある。そうすると、その空隙に第2の導体群1  
20の形成に用いられるめっき液等が入り込んで各外導体部の絶縁性が悪化し、  
薄膜磁気ヘッドの信頼性が低下するおそれがある。これに対し、第1の変形例に  
おける薄膜コイルは、各接続部の回りに絶縁膜20, 23, 27の配置される領  
域が広く確保されているため、隣り合う各接続部の間に絶縁層20, 23, 27  
が十分に入り込み、空隙を生じるおそれが排除されている。

#### 【0097】

また、内導体部113~116は内導体部113のエアベアリング面30側の  
側部を除いて、それぞれの側部が湾曲している。これらの各側部は、第3の磁極  
部10cにおける突出部32bの側面形状に対応するように湾曲し、すなわち円  
柱の側面形状に沿った曲面形状を有している（図26および図27では円弧状の

曲線)。

#### 【0098】

さらに、本変形例における外導体部122は、側部の形状が薄膜コイル110と相違し、外導体部123～126におけるそれぞれの側部が外導体部123のエアベアリング面30側の側部を除いて、内導体部113～116と同じように湾曲している。このように、内導体部113～116、外導体部123～126の側部が突出部32bの側面形状に対応するように湾曲していると、内導体部113～116、外導体部123～126の経路幅がなだらかに変化する。そのため、内導体部113～116、外導体部123～126における電流の流れがスムーズになり、抵抗値の上昇を抑制することができる。また、薄膜コイルと比較して内導体部113～116と外導体部123～126を形成するためのフォトリソグラフィが容易になり、これらをより微細な形状にすることができる。

#### 【0099】

##### (第2の変形例)

第2の変形例における薄膜磁気ヘッド300は、上述の薄膜コイル110と構成の異なる薄膜コイルを有する点と、緩和部の形成されている箇所が相違し、他は共通であるから、以下の説明はその相違点について行い、共通点についての説明は省略ないし簡略化する。ここで、図28A、Bは、第2の変形例における図4A、Bと同様の断面図である。

#### 【0100】

図28A、Bに示すように、本変形例における薄膜コイルは、第1の導体群117、第2の導体群120および接続部群130を有しているが、全体で一連の5ターンループを形成している点、第2の導体群120が絶縁接触構造を有していない点で相違している。第1の導体群117は、内導体部111、112、113、114、115を有し、それぞれが分離用絶縁膜15を介して接触している。第2の導体群120は、外導体部121、122、123、124、125



を有しているが、各外導体部がフレームめっき法によって形成されているため、フレームを設けたことに伴い、互いに離れた位置に配置されている。

#### 【0101】

5       そして、第1の導体群117について、薄膜コイル110と同様に内導体部111と第2の磁極部10bとの間に内緩和部100を有するほか、薄膜コイル110とは異なり、連結部31側に配置される内導体部115と第5の磁極部10eとの間にも、更に内緩和部105を有し、第1の導体群117が2つの内緩和部100、105の間に配置されている。この内緩和部105は、内緩和部100と同様の材料からなり、上述した薄膜コイル110の製造工程において、図8  
10       Aに示す間隙106に、フォトリソットなどを形成することによって形成することができ。なお、図示しないが、第1の導体群117に、内緩和部100を形成しないで連結部31側の内緩和部105のみを形成してもよい。

#### 【0102】

15       以上のような本変形例における薄膜コイルは、第1の導体群117が薄膜コイル110と同様の絶縁接触構造を有し、各内導体部111～115が高密度に配置されているから、自己膨張により、互いに横に押しやるようにして隣接するもの同士で影響を与え合い易い。しかしながら、第1の導体群117が2つの緩和部100、105の間に配置されているから、コイルの自己膨張の影響が薄膜コイル110よりも、より一層緩和されるようになっている。

#### 20       【0103】

      これに対し、第2の導体群120では、各外導体部が互いに離れた位置に配置されているから、自己膨張により互いに隣接するもの同士で影響を与え合うことが第1の導体群117ほど強くなく、そのため、第2の導体群120では、緩和部を有していない。つまり、緩和部は、絶縁接触構造を有する方の導体群に形成してこそ有益なものになる。もちろん、第2の導体群120に緩和部を設けても  
25       よい。

#### 【0104】

以下、上述した薄膜磁気ヘッド300の製造工程における変形例について、主に図29A、B～図31A、Bを参照して説明する。

#### (製造工程の変形例)

- 5      本変形例における製造方法では、図8Aおよび図8Bに示すように、分離用絶縁膜15を形成するまでの工程は、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様である。本変形例において相違するのはこれ以降の工程である。以下では、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と相違する点を中心に行い、共通点については説明を省略ないし簡略化する。

#### 10      【0105】

- そして、図8Aおよび図8Bに示した工程に続いて図29Aおよび図29Bに示すように、積層体の全面にフォトレジスト45を4～5 $\mu$ mの厚さで形成した後、所定のフォトマスクを用いてパターンニングを行い、分離用絶縁膜15で覆われた内緩和部用間隙102と、第1の内導体部111、113、115の間と、  
15      第1の内導体部115と第3の磁極部10cとの間を被覆するようにフォトレジスト45を残す。その後、積層体の上面全体を覆うように例えばアルミナよりなる絶縁膜16を例えば4～5 $\mu$ mの厚さで形成する。

#### 【0106】

- 次に、図30Aおよび図30Bに示すように、絶縁膜16で覆われた表面をフォトレジスト45が露出するまでCMPにより研磨して、表面の平坦化処理を行う。  
20

- 続いて、図31Aおよび図31Bに示すように、フォトレジスト45を除去した上で、分離用絶縁膜15で覆われた内緩和部用間隙102を被覆するようにして、再びフォトレジストを形成するか、ポリイミド樹脂、SOG等からなる被膜  
25      を選択的に形成する。すると、内緩和部用間隙102に内緩和部100が形成される。その後、積層体の全面にCuからなる電極膜17aをスパッタ法またはC

VD法により約200~500Åの厚さで形成し、続いて、その電極膜17aの表面に、例えばCuよりなる導電層17bを約3~5μmの厚さで形成する。こうすることによって、第1の内導体部111、113、115と、第3の磁極部10cとの間の内溝部に導電層17bが確実に埋め込まれる。

#### 【0107】

続いて、導電層17bで覆われた表面を第1の内導体部111、113、115が露出するまでCMPにより研磨して、表面の平坦化処理を行う。この研磨により、図11Aおよび図11Bに示したように、第1の内導体部111、113、115の間と、第1の内導体部115と第3の磁極部10cとの間に残った導電層17bおよび電極膜17aによって、第2の内導体部112、114、116が形成される。これ以降の工程を上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様に行うことにより、第1の導体群117、第2の導体群120および接続部層群130とによって薄膜コイル110が形成され、薄膜磁気ヘッド300が得られる。

#### 【0108】

##### 第2の実施の形態

次に、図32を参照して、本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドについて説明する。図32は本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド450を示す平面図である

第2の実施の形態にかかる薄膜磁気ヘッド450は、図示しない基板に積層された再生ヘッド、記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）およびエアベアリング面30を有している。この薄膜磁気ヘッド450は、薄膜磁気ヘッド300と比較して、主に、記録ヘッドにおける薄膜コイル410の構成が相違している。

#### 【0109】

記録ヘッドは薄膜磁気ヘッド300と同様に下部磁極層、上部磁極層25、記録ギャップ層および薄膜コイル410が基板上に積層された構成を有している。

下部磁極層および上部磁極層 2 5 は、薄膜磁気ヘッド 3 0 0 と同様に、エアベアリング面 3 0 の側に互いに対向する磁極部（対向磁極部）を有し、図示しない連結部で互いに磁氣的に連結されている。記録ギャップ層は、下部磁極層の対向磁極部と上部磁極層 2 5 の対向磁極部との間に形成されている。なお、図 3 2 では図示の都合上、記録ギャップ層は図示を省略し、下部磁極層は、第 2 の磁極部 1 0 b と第 3 の磁極部 1 0 c のみを示している。

#### 【0110】

薄膜コイル 4 1 0 は、下部磁極層および上部磁極層 2 5 に対して絶縁された状態で、下部磁極層と上部磁極層 2 5 を連結する連結部 3 1 を軸に周回し、連結部 3 1 の回りに平面渦巻き状に巻回されてなっている。この薄膜コイル 4 1 0 は、第 1 の導体群 4 1 7 と、第 2 の導体群 4 2 0 と、接続部群 4 3 0、接続部群 4 4 0 とを有し、これらがつながることによって、一連の 6 ターンループを形成している。

#### 【0111】

第 1 の導体群 4 1 7 は、下部磁極層と上部磁極層 2 5 との間に配置された第 1 の内導体部 4 1 1、4 1 3、4 1 5 と、第 2 の内導体部 4 1 2、4 1 4、4 1 6 とを有し、各内導体部 4 1 1～4 1 6 の互いに隣り合うもの同士が分離用絶縁膜 1 5 を介して接触する絶縁接触構造を有している。また、内導体部 4 1 1 が分離用絶縁膜 1 5 を介して、後述する内緩和部 4 0 0 に接触している。

#### 【0112】

各内導体部 4 1 1～4 1 6 は、それぞれの側部が第 3 の磁極部 1 0 c における突出部の側面形状に対応するように湾曲している。また、各内導体部 4 1 1～4 1 6 は、上部磁極層 2 5 に対応する部分からその外側に向かって、それぞれの経路幅が漸次広がる可変幅構造を有し、第 3 の磁極部 1 0 c の突出部に対応した箇所

に最狭部を有している。

第 2 の導体群 4 2 0 は、いずれも連結部 3 1 の外側における第 1 の導体群 4 1

7と同じ平面上に配置された第1の外導体部422、424、426と、第2の外導体部421、423、425とを有し、互いに隣り合うもの同士が分離用絶縁膜34を介して接触する絶縁接触構造を有している。

#### 【0113】

5 各外導体部421～426は、各内導体部411～416とともに、連結部31の回りを周回する周回路を形成するように湾曲していて、ほぼ等しい経路幅を有している。

10 接続部群430は、複数の接続部431～436を有している。接続部431～436は、各内導体部411～416と各外導体部421～426とを接続するために設けられたもので、上部磁極層25よりも外側において、エアベアリング面30に沿って配置され、次のようにして設けられている。すなわち、接続部431、432、433、434、435、436は、それぞれ、外導体部421～426と、内導体部411～416を接続するように設けられている。

#### 【0114】

15 接続部群440は、複数の接続部441～447を有している。接続部442～445は、各内導体部411、412、413、414と、各外導体部423、424、425、426とを接続するために設けられている。また、接続部441は外導体部422を端子部451に接続している。接続部446は内導体部415を端子部452に接続している。接続部447は内導体部416を端子部  
20 453に接続している。

#### 【0115】

そして、薄膜コイル410は、外導体部421が接続部431を介して内導体部411へとつながり、さらに、内導体部411が接続部442を介して外導体部423へとつながり、これによって、1ターンのループを形成している。続いて、外導体部423が接続部433を介して内導体部413につながり、さらに  
25 内導体部413が接続部444を介して外導体部425につながり、外導体部4

2.5 が接続部 4 3 4 を介して内導体部 4 1 5... さらに接続部 4 4 6 を介して端子部 4 5 2 につながって 2 ターンのループを形成する。

#### 【0116】

さらに、端子部 4 5 2 が導線部 4 5 6 を介して端子部 4 5 1 につながり、端子部 4 5 1 が接続部 4 4 1 を介して外導体部 4 2 2 につながる。また、外導体部 4 2 2 が接続部 4 3 2 を介して内導体部 4 1 2 につながり、内導体部 4 1 2 が接続部 4 4 3 を介して外導体部 4 2 4 につながって、再び 1 ターンのループを形成する。そして、外導体部 4 2 4 が接続部 4 3 4 を介して内導体部 4 1 4 につながり、内導体部 4 1 4 が接続部 4 4 5 を介して外導体部 4 2 6 につながり、外導体部 4 2 6 が接続部 4 3 6 を介して内導体部 4 1 6 につながり、内導体部 4 1 6 が接続部 4 4 7 を端子部 4 5 3 につながって、2 ターンのループを形成する。また、端子部 4 5 3 は、導線部 4 5 7 を介して端子部 4 5 4 につながっている。端子部 4 5 4 が図示しない外部の電極パッドに接続されている。

#### 【0117】

緩和部 4 0 0 は内緩和部 1 0 0 と同様な材料からなり、図 3 2 に示すように、エアベアリング面 3 0 側に配置された内導体部 4 1 1 と分離用絶縁膜 1 5 を介して接触するように配置されている。

以上のように、薄膜磁気ヘッド 4 5 0 は、薄膜コイル 4 1 0 が絶縁接触構造を有し、第 1 の導体群 4 1 7 を構成する各内導体部 4 1 1 ~ 4 1 6 と、第 2 の導体群 4 2 0 を構成する外導体部 4 2 1 ~ 4 2 6 とが、それぞれ互いに分離用絶縁膜 1 5、3 4 を介して接触している。そのため、各内導体部 4 1 1 ~ 4 1 6 および外導体部 4 2 1 ~ 4 2 6 は、隣り合うもの同士の間隙がほとんどなく密集して高密度に配置されている。よって、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくてもヨーク長を短縮でき、また、各内導体部、外導体部の経路幅をあまり狭めなくてもよいので、電流の流れを妨げることが少なく、したがって、抵抗値の上昇が抑制されている。

【0118】

その上、内導体部411と、第2の磁極部10bとの間に緩和部400が形成されているので、薄膜コイル410が自己膨張を引き起こしても、自己膨張による幅の広がりを緩和部400により吸収することができる。そのため、薄膜磁気ヘッド450も、薄膜磁気ヘッド300と同様に、ターン幅の縮小化に伴い、薄膜コイル410が自己膨張を発生しやすくなっても、磁極部が記録媒体に近づくように突出することがないから、ターン数を確保しながらヨーク長を一層短縮することが可能である。

【0119】

(その他の変形例)

本発明は、図1の各構成要素に限定されるものではなく、適宜変更或は、薄膜コイル410は6ターンに設定したが、薄膜コイルのターン数はこれら以外にも適宜選択可能である。

また、第1の実施の形態において、少なくとも第1の導体群までを製造した半製品（薄膜磁気ヘッド用基礎構造物）を用いて、所望のターン数の薄膜コイルを製造することもできる。その場合は、各接続部の形状と外導体部の数の両方を変更することによって、薄膜コイルのターン数を選択するようにしてもよい。

【0120】

さらに、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用のヘッドにも適用することができ、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

【0121】

(ヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置の実施の形態)

次に、ヘッドジンバルアセンブリおよびハードディスク装置の実施の形態について説明する。

図 33 は、上述の薄膜磁気ヘッド 110 を備えたハードディスク装置 201 を示す斜視図である。ハードディスク装置 201 は、高速回転するハードディスク（記録媒体）202 と、ヘッドジンバルアセンブリ（HGA : Head Gimbals Assembly）215 とを有している。ハードディスク装置 201 は、HGA 215 を作動させて、ハードディスク 202 の記録面に、磁気情報の記録および再生を行う装置である。ハードディスク 202 は、複数枚（図では 3 枚）のディスクを有している。各ディスクは、それぞれの記録面が薄膜磁気ヘッド 110 に対向している。HGA 215 は、薄膜磁気ヘッド 110 が形成された基台を有するヘッドスライダ 211 を搭載したジンバル 212 と、ジンバル 212 を支えるサスペンションアーム 213 とがディスクの各記録面に配置され、支軸 214 の回りに図示しない例えばボイスコイルモータによって回転可能になっている。そして、HGA 215 を回転させると、ヘッドスライダ 211 がハードディスク 202 の半径方向、すなわち、トラックラインを横切る方向に移動する。

#### 【0122】

このような HGA 215 およびハードディスク装置 201 はいずれも薄膜磁気ヘッド 110 を有するから、高周波帯域における記録特性が優れている。なお、HGA 215 およびハードディスク装置 201 が、第 1 の実施形態における各変形例に係る薄膜磁気ヘッドまたは第 2 の実施形態に係る薄膜磁気ヘッドを有するときも、同様に高周波帯域における記録特性が優れている。

#### 【0123】

以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。したがって、以下の請求の範囲と均等の範囲において、上記最良の形態以外でも本発明を実施することが可能である。



### 請求の範囲

1. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または前記第1および第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群または前記連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、

前記第1の導体群が、前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、

前記第1および第2の導体群と、前記第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、前記第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けたことを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

2. 前記媒体対向面の側に配置された前記内導体部と、前記第1の磁極群との間に前記内緩和部が配置されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。

3. 前記連結部の側に配置された前記内導体部と、前記第1の磁極群との間に前記内緩和部が更に配置されていることを特徴とする請求の範囲第2項記載の薄膜磁気ヘッド。

4. 前記第2の導体群が、前記各外導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、

前記第1および第2の導体群と、前記第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、前記第2の導体群と絶縁膜を介して接触

する外緩和部を更に設けたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の薄膜磁気ヘッド。

5 5. 前記媒体対向面の側に配置された前記外導体部と、前記媒体対向面との間に前記外導体部が配置されていることを特徴とする請求の範囲第4項記載の薄膜磁気ヘッド。

6. 前記第1の導体群および第2の導体群は、前記各内導体部および各外導体部の媒体対向面に交差する方向の配置密度が、前記第2の磁極群の外側から該第2の磁極群に向かって増加していることを特徴とする請求の範囲第4項記載の薄膜磁気ヘッド。

10 7. 前記各内導体部および各外導体部は、前記第2の磁極群に対応する部分からその外側に向かって、経路幅が漸次広がる可変幅構造を有していることを特徴とする請求の範囲第4項記載の薄膜磁気ヘッド。

8. 前記第1の磁極群が、前記媒体対向面に向かって突出する突出部を有することを特徴とする請求の範囲第7項記載の薄膜磁気ヘッド。

15 9. 前記各内導体部および各外導体部が、前記突出部に対応した箇所に、前記経路幅が最も狭い最狭部を有することを特徴とする請求の範囲第8項記載の薄膜磁気ヘッド。

10. 前記突出部が、前記媒体対向面に向かって突出する曲面を有することを特徴とする請求の範囲第8項記載の薄膜磁気ヘッド。

20 11. 前記各内導体部および各外導体部が、前記突出部の側面形状に対応して湾曲していることを特徴とする請求の範囲第10項記載の薄膜磁気ヘッド。

12. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁気的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

25

前記基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層とを、前記第1の内導体部に隣接する緩和部用間隙を設けて形成する工程と、

5 前記第2の磁極層および互いに隣り合う前記各第1の内導体部の間と、前記緩和部用間隙に分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程と、

前記各内溝部に、前記第1の内導体部または前記第2の磁極層のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなる内緩和部と第2の内導体部とを形成し、前記第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程と、

10 前記第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して前記第1の磁極群を形成する工程と、

前記記録ギャップ層を設けるようにして、前記第1の磁極群上に前記第2の磁極群を形成する工程と、

前記下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成する工程と、

15 前記第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部と、ヨーク長を決める位置に配置された絶縁部を形成する工程と、

前記絶縁部および互いに隣り合う前記各第1の外導体部の間に、分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程と、

前記各外溝部に第2の外導体部を形成し、前記第1および第2の外導体部により第2の導体群を形成する工程と、

20 前記第1および第2の導体群と、前記接続部群とによって、前記薄膜コイルを形成する工程とを有することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

13. 記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁気的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状に巻回された薄膜コイルとを、基板上に積層して薄膜磁気ヘッドを製造する薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

25

前記基板上に設けた第1の磁極層上に絶縁膜を介して接触する複数の第1の内  
導体部および下部接続層と、ヨーク長を決める位置に配置された第2の磁極層と  
を、前記第1の内導体部に隣接する内緩和部用間隙を設けて形成する工程と、

5 前記第2の磁極層および互いに隣り合う前記各第1の内導体部の間と、前記内  
緩和部用間隙に分離用絶縁膜で覆われた内溝部を形成する工程と、

前記各内溝部に、前記第1の内導体部または前記第2の磁極層のいずれか少な  
くとも一方よりも柔軟な材料からなる内緩和部と第2の内導体部とを形成し、前  
記第1および第2の内導体部により第1の導体群を形成する工程と、

10 前記第2の磁極層上に第3の磁極層を積層して前記第1の磁極群を形成する工  
程と、

前記記録ギャップ層を設けるようにして、前記第1の磁極群上に前記第2の磁  
極群を形成する工程と、

前記下部接続層に上部接続層を配置して接続部群を形成する工程と、

15 前記第2の磁極群に絶縁膜を介して接触する複数の第1の外導体部と、ヨーク  
長を決める位置に配置された絶縁部とを、前記第1の外導体部に隣接する外緩和  
部用間隙を設けて形成する工程と、

前記絶縁部および互いに隣り合う前記各第1の外導体部の間と、前記外緩和部  
用間隙に分離用絶縁膜で覆われた外溝部を形成する工程と、

20 前記各外溝部に、前記第1の外導体部よりも柔軟な材料からなる外緩和部と第  
2の外導体部とを形成し、前記第1および第2の外導体部により第2の導体群を  
形成する工程と、

前記第1および第2の導体群と、前記該接続部群とによって、前記薄膜コイル  
を形成する工程とを有することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

25 14. 前記第1の内導体部、第2の内導体部、前記第1の外導体部および第2の  
外導体部をそれぞれめっきにより形成することを特徴とする請求の範囲第13項  
記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

15. 前記第2の内導体部および第2の外導体部は、電極膜をスパッタ法により形成し、該電極膜上にめっきによる導電層を形成することによって、形成されていることを特徴とする請求の範囲第13項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

16. 前記分離用絶縁膜を複数のアルミナ膜を積層して形成することを特徴とする請求の範囲第13項記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

17. 基台上に形成された薄膜磁気ヘッドと、前記基台を固定するジンバルとを備え、

前記薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または前記第1および第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群または前記連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、

前記第1の導体群が、前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、

前記第1および第2の導体群と、前記第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、前記第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けたことを特徴とするヘッドジンバルアセンブリ。

18. 薄膜磁気ヘッドを有するヘッドジンバルアセンブリと、前記薄膜磁気ヘッドに対向する記録媒体とを備え、

前記薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁氣的に連結された第1および第2の磁極群と、前記各磁極部の

間に形成された記録ギャップ層と、前記第1および第2の磁極群に対して絶縁され、前記第1および第2の磁極群の少なくとも一方の回りに螺旋状または前記第1および第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層された構成を有し、

- 5 前記薄膜コイルは、前記第1の磁極群と第2の磁極群との間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、前記第2の磁極群または前記連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群と、前記各内導体部と前記各外導体部とを接続する接続部を有する接続部群とを有し、

- 10 前記第1の導体群が、前記各内導体部が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、

前記第1および第2の導体群と、前記第1および第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、前記第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部を設けたことを特徴とするハードディスク装置。

## 開示内容の要約

薄膜磁気ヘッドは媒体対向面の側に互いに対向する磁極部を有し、磁気的に連結された第1、第2の磁極群と、各磁極部の間に形成された記録ギャップ層と、  
5 第1、第2の磁極群に対して絶縁され、その少なくとも一方の回りに螺旋状または第1、第2の磁極群を連結する連結部の回りに平面渦巻き状に巻回された薄膜コイルとが基板上に積層されている。薄膜コイルは、第1、第2の磁極群の間に配置された複数の内導体部を有する第1の導体群と、第2の磁極群または連結部の外側に配置された外導体部を有する第2の導体群とを有し、第1の導体群が、  
10 各内導体部同士が互いに絶縁膜を介して接触する絶縁接触構造を有し、第1、第2の導体群と、第1、第2の磁極群のいずれか少なくとも一方よりも柔軟な材料からなり、第1の導体群と絶縁膜を介して接触する内緩和部が設けられている。